

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
PARIS

①1 N° de publication :  
(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)

2 771 659

②1 N° d'enregistrement national : 97 15166

⑤1 Int Cl<sup>6</sup> : B 04 B 13/00, C 02 F 11/12

⑫

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 02.12.97.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public de la  
demande : 04.06.99 Bulletin 99/22.

⑤6 Liste des documents cités dans le rapport de  
recherche préliminaire : Se reporter à la fin du  
présent fascicule

⑥0 Références à d'autres documents nationaux  
apparentés :

⑦1 Demandeur(s) : DEGREMONT — FR.

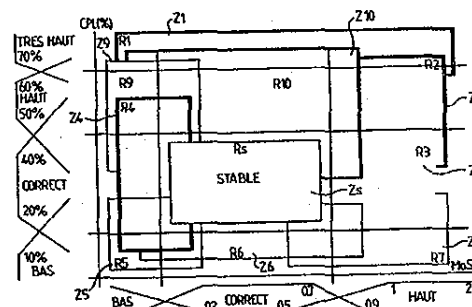
⑦2 Inventeur(s) :

⑦3 Titulaire(s) :

⑦4 Mandataire(s) : ARMENGAUD AINE.

⑤4 PROCÉDE DE REGULATION DE CENTRIFUGEUSES POUR LA DESHYDRATATION DES BOUES  
D'EPURATION, METTANT EN OEUVRE LA LOGIQUE FLOUE.

⑤7 Ce procédé consiste à: (A) mesurer en tant que variables d'entrée: la teneur en matières en suspension (MeS) du centrat; les débits de boues, Db et de réactif Dp (polymère); dans le cas de centrifugeuses conventionnelles, la valeur du couple CPL qui représente la quantité de boues présente dans la machine, dans le cas de centrifugeuses intensives, la valeur relative VR, qui représente le temps de séjour de la boue dans la centrifugeuse et éventuellement, la valeur du couple CPL; (B) situer le point de fonctionnement résultant des mesures précédentes dans des plages de fonctionnement qui constituent des espaces types où les actions sur les débits de boue (Db) et de réactif (Dp) permettent de ramener le point de fonctionnement de la centrifugeuse dans un espace considéré comme étant un espace de fonctionnement stable et optimal de la centrifugeuse, et, (C) agir, selon les résultats du traitement des entrées sur le débit de boue, (Db) à l'entrée de la centrifugeuse et/ ou sur le débit de réactif (Dp).



FR 2 771 659 - A1



5

La présente invention concerne un procédé de régulation de centrifugeuses utilisées en séparation solide/liquide notamment pour la déshydratation des boues.

10 On sait que le but d'une centrifugeuse, dans son application à la déshydratation des boues est d'assurer une séparation solide/liquide de l'effluent d'entrée (ou boue) pour obtenir :

- d'un côté un gâteau ou « cake » ou sédiment de consistance pâteuse ;
- d'un autre côté, un liquide peu chargé en matières en suspension (MeS).

15 Afin de faciliter la bonne séparation entre la phase solide et la phase liquide, et favoriser la capture des particules solides par la centrifugeuse, on ajoute un réactif (polymère) à la boue.

Les techniques classiques de déshydratation par centrifugation ne sont généralement pas optimales sur les quatre critères suivants :

- 20
- la stabilité du fonctionnement de la centrifugeuse ;
  - la siccité du gâteau de filtration ;
  - la maîtrise permanente du taux de capture et.
  - le dosage du polymère.

L'expérience montre donc que la mise en oeuvre des centrifugeuses  
25 nécessite une régulation afin de maintenir la centrifugeuse dans la zone de fonctionnement la meilleure malgré les variations de concentration et de qualité de la boue d'entrée, tout en optimisant la dose de réactif injectée et en minimisant la quantité de matières en suspension non captées par la centrifugeuse et qui se retrouvent dans le centrat. On devra également choisir, lors de la conception de  
30 l'installation, entre les centrifugeuses conventionnelles et les centrifugeuses dites « intensives » à fort taux de remplissage en matière sèche.

Les procédés classiques de régulation passent par une mesure de la concentration en matières en suspension et ils peuvent comporter :

1) Une régulation du flux massique à l'entrée de la centrifugeuse par mesure de la concentration et du débit hydraulique agissant sur le débit de la pompe de gavage. Le principal problème à résoudre est la fiabilité du capteur de MeS en ligne suivant le type de boue : la réponse de ce capteur est limitée en concentration, 5 influencée par de fortes colorations et perturbée par les filasses. Ces limites réduisent le champ d'application de cette régulation à quelques cas particuliers, d'autant plus que ladite régulation ne peut tenir compte des variations de qualité de boues en fonction de leurs origines et de leurs proportions relatives (boues fraîches, boues décantées primaires, boues digérées ...).

10 2) Un asservissement de la dose de réactif proportionnellement au flux entrant dans la centrifugeuse que la régulation du flux massique fonctionne ou non. On peut ainsi envisager de gérer plus économiquement le dosage de polymère.

3) Un asservissement de la dose de réactif au débit hydraulique entrant sur la centrifugeuse. Il s'agit là d'un cas particulier de l'asservissement mentionné au 15 paragraphe 2 ci-dessus qui considère que la concentration de l'effluent d'entrée est « constante ». En fait, le dosage de réactif doit s'effectuer par excès afin de pallier les inévitables variations de concentration.

4) Une régulation de la dose de réactif à partir de la mesure de turbidité dans l'effluent clarifié (centrat) en mettant en oeuvre un capteur de concentration en MeS 20 en ligne sur la conduite. Cette mesure a pour objectif d'influencer le coefficient de proportionnalité au débit de dosage de réactif par l'intermédiaire d'un régulateur. En fait, le centrat se prête mal à la mesure de concentration en MeS en ligne, cette dernière étant perturbée notamment par des formations de mousses, de microbulles, etc...

25 L'expérience montre que ces modes de régulation classiques (ou l'absence de régulation) induisent un fonctionnement critique et instable des centrifugeuses, sur valeurs de consigne, ce qui exige la présence de personnel pour effectuer les réglages et obtenir des performances correctes en ce qui concerne le fonctionnement. On rappellera que ces performances sont essentiellement 30 caractérisées par :

- Une siccité satisfaisante de la boue de sortie ;
- Un effluent clarifié (centrat) suffisamment clair ;
- Une dose de réactif (polymère) raisonnable.

Le but de la présente invention est d'assurer les performances mentionnées ci-dessus sans personnel de surveillance, c'est-à-dire d'obtenir automatiquement les caractéristiques suivantes :

- Une siccité optimale de la boue de sortie sans excès de polymère ;
- 5        - Un flux massique optimal quelles que soient les variations de concentration de la boue à l'entrée de la centrifugeuse et,
- Un effluent clarifié au mieux (sans retour de pollution en tête de la station d'épuration).

La demanderesse est par ailleurs titulaire de FR-A-2 707 758 qui concerne  
10 un dispositif pour la mesure en continu de la concentration des matières en suspension d'un centrat, ce dispositif permettant de réaliser une mesure fiable et continue de la teneur en matières en suspension de la phase liquide dite « centrat ».

La présente invention se caractérise par le fait que la régulation de la centrifugeuse est réalisée en logique floue en utilisant le signal du capteur selon  
15 Fr-A-2 707 758 ainsi que les autres signaux disponibles sur la centrifugeuse, ce qui permet de commander les débits de boue et de réactif admis dans ladite centrifugeuse.

On donnera ci-après une explication simplifiée de la logique floue.

En se référant à la figure 1 du dessin annexé, la structure d'un contrôleur flou  
20 peut être représentée sous la forme du schéma de cette figure 1 dans laquelle :

E sont les entrées analogiques du système,

C sont les commandes du système,

F représente la transformation des entrées E en variables floues (« fuzzification »)

25 I est le module de raisonnement appliqué aux variables floues (règles d'inférence) et,

D est le calcul de la commande C à appliquer à partir des descriptions floues des variables de sortie (« defuzzification »).

Les variables floues sont des ensembles de valeurs affectées d'un degré  
30 d'appartenance à une famille ou un ensemble de familles. Ainsi, la transformation d'une entrée analogique peut se décomposer en une multitude de variables, ou pour simplifier en quatre variables floues : bas, correct, haut, très haut (voir la figure 2). Il en est de même pour les variables de sortie.

Les règles d'inférence et la définition du degré d'appartenance à une famille définissent la valeur que doit prendre la sortie D. Le calcul de la commande D consiste à quantifier la (ou les) sortie(s) floue(s) et à la (ou les) transformer en grandeur(s) numérique(s) applicable(s) au processus (voir L.A ZADEH « information and control, 8-1965).

Partant de cet état de la technique la présente invention apporte un procédé de régulation par logique floue d'une centrifugeuse utilisée en séparation solide/liquide notamment pour la déshydratation des boues d'épuration qui consiste à :

- 10 (A) - mesurer en tant que variables d'entrée (voir la figure 1) :
- la teneur en matières en suspension (MeS) du centrât ;
  - les débits de boues, Db et de réactif Dp (polymère) ;
  - dans le cas de centrifugeuses conventionnelles, la valeur du couple CPL (qui représente la quantité de boues présente dans la machine,
  - 15 - dans le cas de centrifugeuses intensives, la vitesse relative VR (qui représente le temps de séjour de la boue dans la centrifugeuse) et éventuellement, la valeur du couple CPL.

- (B) - situer le point de fonctionnement résultant des mesures précédentes dans des plages de fonctionnement qui constituent des espaces types où les actions sur les débits de boue (Db) et de réactif (Dp) permettent de ramener le point de fonctionnement de la centrifugeuse dans un espace considéré comme étant un espace de fonctionnement stable et optimal de la centrifugeuse, et,
- 20

(C) - agir, selon les résultats du traitement des entrées sur le débit de boue, (Db) à l'entrée de la centrifugeuse et/ou sur le débit de réactif (Dp).

- 25 Ainsi qu'on le comprend de la lecture de la définition de procédé de l'invention exposée ci-dessus, dans ce procédé les entrées sont de deux types :

1) Les entrées « procédé » :

- la teneur en MeS du centrât ;
- le débit de boue Db et,
- 30 - le débit de réactif (polymère) Dp,

2) Les entrées spécifiques à la centrifugeuse :

- la valeur du couple CPL et,
- la valeur de la vitesse relative VR.

De même, les sorties sont de deux types :

1) Les commandes « procédé » :

- la variation du débit de boue Db : généralement en mettant en oeuvre une commande de pompe volumétrique à vitesse variable et,
- la variation du débit de réactif Dp (polymère) en utilisant également par exemple une pompe volumétrique à vitesse variable.

Ces commandes de variation de débit Db et Dp sont actionnées en fonction de la position du point de fonctionnement de la centrifugeuse (caractérisée par les valeurs « entrées procédé » mentionnées ci-dessus) par rapport à des plages de fonctionnement, définies à partir des règles d'expertise édictées a priori par l'homme de l'art : ces plages de fonctionnement sont des espaces-type (à n dimensions, en fonction du nombre « d'entrées-procédé » prises en compte) dans lesquels les actions sur les débits de boue et de réactif permettent de ramener le point de fonctionnement de la centrifugeuse dans un espace caractérisé comme étant un espace de fonctionnement stable et optimal.

2) Les informations d'exploitation, sous forme d'affichage d'un indice de confiance représentant l'écart entre le comportement effectif de la centrifugeuse et le comportement idéal tel que modélisé à partir des règles d'expertise du contrôleur flou. Un indice de confiance élevé atteste l'exploitation de la centrifugeuse dans une plage de fonctionnement stable et optimal pour ladite centrifugeuse.

Le procédé permet donc de caractériser et de signaler tout dysfonctionnement prolongé (tel que : défaut du capteur, manque de polymère, inadéquation du polymère, changement de caractéristiques des boues, etc...). La persistance d'indices de confiance de faible valeur (l'idéal étant de maintenir l'indice à 100%), peut, en ultime recours, amener l'homme de l'art à redéfinir, par rapport aux règles d'expertise, les plages de fonctionnement de la centrifugeuse.

Sur la figure 2 du dessin annexé, on a donné une représentation ne prenant en compte que deux des cinq variables d'entrée du procédé selon la présente invention (la variation du couple CPL de la centrifugeuse et la teneur en matières en suspension MeS dans le centrat) et illustrant le fonctionnement de ce procédé en ce qu'il met en évidence plusieurs plages ou zones de fonctionnement et, en

particulier une plage ou zone de fonctionnement optimal et stable de la centrifugeuse à laquelle il est appliqué.

L'invention vise également un dispositif de conduite d'une centrifugeuse utilisée en séparation solide/liquide, notamment pour la déshydratation des boues de stations d'épuration caractérisé en ce qu'il comprend :

- 5 - des moyens de mesure d'au moins deux variables d'entrée, qui sont d'une part la teneur en matières en suspension MeS du centrat et d'autre part, le couple CPL du moteur de la centrifugeuse (dans le cas des centrifugeuses conventionnelles), soit la vitesse relative VR de la vis de la centrifugeuse par rapport  
10 au bol de celle-ci (dans le cas des centrifugeuses intensives) ;
- des moyens de mise en oeuvre des règles R1 ... Rn de la logique floue qualifiant le fonctionnement de la centrifugeuse, règles associées à des zones ou plages Z1...Zn de l'espace à au moins deux dimensions défini par les variables d'entrée et,
- 15 - des moyens de détermination périodique, par logique floue, à partir des règles R1... Rn, de nouvelles consignes de débit de boues Db et de débit de polymère Dp, admis sur la centrifugeuse.

Selon une caractéristique de ce dispositif, il comprend des moyens de mesure de variables d'entrée supplémentaires, telles que notamment le débit de boues Db,  
20 le débit de polymère Dp, la vitesse relative VR de la vis de la centrifugeuse par rapport au bol de celle-ci (dans le cas des centrifugeuses conventionnelles) ou du couple CPL du moteur de la centrifugeuse (dans le cas des centrifugeuses intensives).

Selon une autre caractéristique de ce dispositif, il existe au moins une zone  
25 Zs appartenant à l'espace Z1...Zn dite « zone de fonctionnement stable et optimal » correspondant à une règle Rs selon laquelle les débits de boues Db et de polymère Dp sont inchangés tant que le point représentatif du fonctionnement de la centrifugeuse est situé dans ladite zone Zs.

Selon l'invention, les règles R1... Rn autres que les règles Rs ont pour objectif  
30 de ramener le point représentatif du fonctionnement de la centrifugeuse dans les zones Zs.

Selon une autre caractéristique de l'invention, les règles R1... Rn sont définies a priori, en fonction du type de centrifugeuse, indépendamment du site ou

est implantée la centrifugeuse, alors que les limites des zones  $Z_1 \dots Z_n$  sont définies sur site, en fonction des conditions locales, notamment du type de boues à traiter.

Selon l'invention, les règles  $R_i$  appartenant à l'ensemble  $R_1, \dots, R_n$  comportent une conclusion du type :

5 
$$D_b(t+\delta t) = D_b(t) \times (1+X_i),$$

dans laquelle  $X_i$  est un nombre quelconque ajustable sur le site,  $D_b(t)$  est le débit de boues à l'instant  $t$  et  $D_b(t+\delta t)$  est le débit de boues à l'instant  $t+\delta t$ .

Selon une autre caractéristique de la présente invention, les règles  $R_i$  appartenant à l'ensemble  $R_1, \dots, R_n$  comportent une conclusion du type :

10 
$$D_p(t+\delta t) = D_p(t) \times (1+Y_i),$$

dans laquelle  $Y_i$  est un nombre quelconque ajustable sur le site,  $D_p(t)$  est le débit de boues à l'instant  $t$  et  $D_p(t+\delta t)$  est le débit de boues à l'instant  $t+\delta t$ .

Selon une autre caractéristique de ce dispositif, à chaque règle  $R_1, \dots, R_n$  est associé un nombre  $IC_1 \dots IC_n$ , appelé Indice de Confiance, représentatif de l'appréciation de la qualité du fonctionnement de la centrifugeuse et, un indice de confiance global, représentatif de l'appréciation de la qualité du fonctionnement de la centrifugeuse au point de fonctionnement de l'instant, est déterminé par la logique floue et affecté pour information du personnel en charge de la surveillance de la centrifugeuse.

20 Parmi les avantages apportés par la présente invention, on peut citer notamment les suivants :

- Gain d'exploitation :

On rappellera que toutes les matières en suspension issues d'un atelier de déshydratation des boues d'épuration et retournant en tête de station d'épuration peuvent être considérées comme de la pollution s'ajoutant à la pollution entrante et donc générant des coûts d'exploitation supplémentaires.

25 En prenant comme base une station de 50 000 eqh (équivalent-habitant) traitant près de 1 000 tonnes par an de boue, une centrifugeuse non régulée, sans surveillance humaine, peut « diverger » 30% de son temps de fonctionnement à un taux de capture aussi faible que 85%. Ceci se traduit par une surcharge de la station d'épuration qui induit des coûts d'exploitation élevés. On estime dans un tel cas, que le procédé selon l'invention permet d'économiser, chaque année, le coût



d'achat de l'installation et de la mise en oeuvre de la régulation floue, des capteurs et des équipements associés.

- Gain d'investissement :

5 L'invention permet d'assurer un fonctionnement optimal, stable et sans surveillance qui se traduit par divers avantages au plan des investissements à réaliser pour l'implantation de l'atelier de déshydratation des boues par centrifugation. On citera, par exemple,

- souplesse de dimensionnement par rapport aux gammes des constructeurs :

10 - le concepteur n'étant plus tenu par la nécessité de faire coïncider la durée d'exploitation quotidienne avec le temps de présence effectif des opérateurs ;

- les centrifugeuses pouvant fonctionner, sans surveillance directe, pendant 12, 16 heures par jour et même davantage ;

15 - adéquation parfaite du procédé à la télésurveillance, les opérateurs étant informés, en temps réel d'éventuels dysfonctionnements.

20 On notera par ailleurs que le procédé objet de la présente invention peut être mis en oeuvre, sans investissement coûteux pour les centrifugeuses actuellement commercialisées. L'invention permet ainsi de réhabiliter des installations anciennes en permettant des réductions de coûts d'exploitation tout en fiabilisant le fonctionnement de ces installations.

Il demeure bien entendu que la présente invention n'est pas limitée aux exemples de réalisation décrits et/ou représentés mais qu'elle en englobe toutes les variantes qui entrent dans le cadre de la portée de la revendication annexée

## REVENDICATIONS

1 - Procédé de régulation d'une centrifugeuse utilisée en séparation  
5 solide/liquide notamment pour la déshydratation des boues d'épuration qui consiste à :

(A) - mesurer en tant que variables d'entrée :

- la teneur en matières en suspension (MeS) du centrat ;
- les débits de boues, Db et de réactif Dp (polymère) ;
- 10 - dans le cas de centrifugeuses conventionnelles, la valeur du couple CPL qui représente la quantité de boues présente dans la machine,
- dans le cas de centrifugeuses intensives, la valeur relative VR, qui représente le temps de séjour de la boue dans la centrifugeuse et éventuellement, la valeur du couple CPL.

15 (B) - situer le point de fonctionnement résultant des mesures précédentes dans des plages de fonctionnement qui constituent des espaces types où les actions sur les débits de boue (Db) et de réactif (Dp) permettent de ramener le point de fonctionnement de la centrifugeuse dans un espace considéré comme étant un espace de fonctionnement stable et optimal de la centrifugeuse, et,

20 (C) - agir, selon les résultats du traitement des entrées sur le débit de boue, (Db) à l'entrée de la centrifugeuse et/ou sur le débit de réactif (Dp).

2 - Dispositif de conduite d'une centrifugeuse utilisée en séparation solide/liquide, notamment pour la déshydratation des boues de stations d'épuration caractérisé en ce qu'il comprend :

25 - des moyens de mesure d'au moins deux variables d'entrée, qui sont d'une part la teneur en matières en suspension MeS du centrat et d'autre part, le couple CPL du moteur de la centrifugeuse, dans le cas des centrifugeuses conventionnelles, soit la vitesse relative VR de la vis de la centrifugeuse par rapport au bol de celle-ci, dans le cas des centrifugeuses intensives ;

30 - des moyens de mise en oeuvre des règles R1 ... Rn de la logique floue qualifiant le fonctionnement de la centrifugeuse, règles associées à des zones ou plages Z1...Zn de l'espace à au moins deux dimensions défini par les variables d'entrée et,

- des moyens de détermination périodique, par logique floue, à partir des règles R1... Rn, de nouvelles consignes de débit de boues Db et de débit de polymère Dp, admis sur la centrifugeuse.

3 - Dispositif selon la revendication 2 caractérisé en ce qu'il comprend des  
5 moyens de mesure de variables d'entrée supplémentaires, telles que notamment le débit de boues Db, le débit de polymère Dp, la vitesse relative VR de la vis de la centrifugeuse par rapport au bol de celle-ci, dans le cas des centrifugeuses conventionnelles ou du couple CPL du moteur de la centrifugeuse, dans le cas des centrifugeuses intensives.

10 4 - Dispositif selon l'une des revendications 2 ou 3 caractérisé en ce qu'il existe au moins une zone Zs appartenant à l'espace Z1...Zn dite « zone de fonctionnement stable et optimal » correspondant à une règle Rs selon laquelle les débits de boues Db et de polymère Dp sont inchangés tant que le point représentatif du fonctionnement de la centrifugeuse est situé dans ladite zone Zs.

15 5 - Dispositif selon l'une quelconque des revendications 2 à 4 caractérisé en ce que les règles R1... Rn autres que les règles Rs ont pour objectif de ramener le point représentatif du fonctionnement de la centrifugeuse dans les zones Zs.

20 6 - Dispositif selon l'une quelconque des revendications 2 à 5 caractérisé en ce que les règles R1... Rn sont définies a priori, en fonction du type de centrifugeuse, indépendamment du site où est implantée la centrifugeuse et les limites des zones Z1...Zn sont définies sur site, en fonction des conditions locales, notamment du type de boues à traiter.

25 7 - Dispositif selon l'une quelconque des revendications 2 à 6 caractérisé en ce que les règles Ri appartenant à l'ensemble R1, ... Rn comportent une conclusion du type :

$$Db(t+\delta t) = Db(t) \times (1+X_i),$$

dans laquelle Xi est un nombre quelconque ajustable sur le site, Db(t) est le débit de boues à l'instant t et Db(t+δt) est le débit de boues à l'instant t+δt.

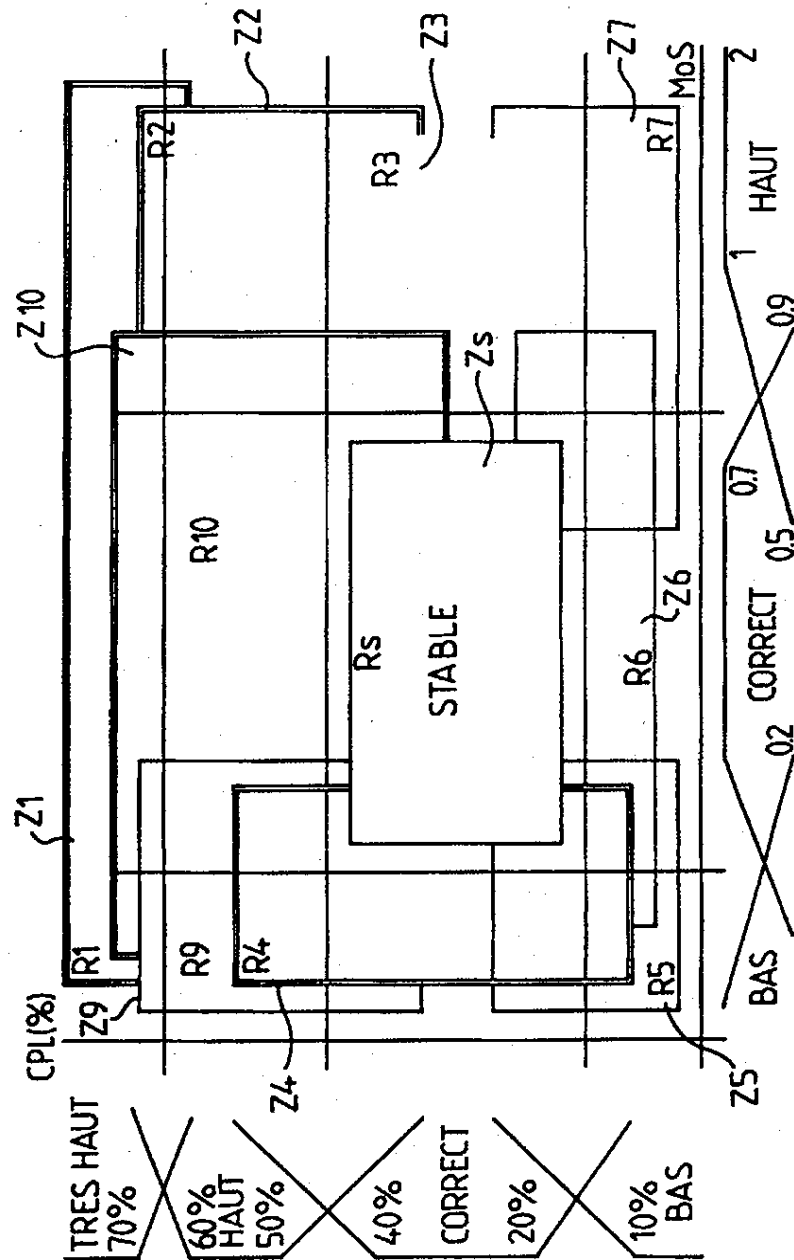
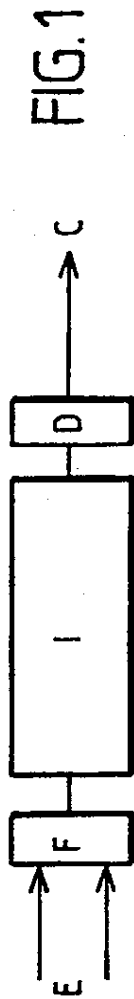
30 8 - Dispositif selon l'une quelconque des revendications 2 à 6 caractérisé en ce que les règles Ri appartenant à l'ensemble R1, ... Rn comportent une conclusion du type :

$$Dp(t+\delta t) = Dp(t) \times (1+Y_i),$$

dans laquelle  $Y_i$  est un nombre quelconque ajustable sur le site,  $D_p(t)$  est le débit de boues à l'instant  $t$  et  $D_p(t+\delta t)$  est le débit de boues à l'instant  $t+\delta t$ .

9 - Dispositif selon l'une quelconque des revendications 2 à 8 caractérisé en ce que à chaque règle  $R_1, \dots, R_n$  est associé un nombre  $IC_1 \dots IC_n$ , appelé Indice de

5 Confiance, représentatif de l'appréciation de la qualité du fonctionnement de la centrifugeuse et en ce qu'un indice de confiance global, représentatif de l'appréciation de la qualité du fonctionnement de la centrifugeuse au point de fonctionnement de l'instant, est déterminé par la logique floue et affecté pour information du personnel en charge de la surveillance de la centrifugeuse.



2771659

FA 551847  
FR 9715166

[illegible]